水田綠肥作物滿江紅

簡宣裕[1] 林錫錦[1] 李啟彰[1] 黃維廷[1] 張金城[2]

行政院農委員會農業試驗所[1] 行政院農委員會中部辦公室[2]

摘 要

滿江紅是一種水生蕨類植物，滿江紅科、滿江紅屬。滿江紅屬有 6 種：*Azolla Carolinian*、*A. filiculoides*、*A. mexicana*、*A. microphylla*、*A. nilotica*、*A. pinnata*。本省原有之滿江紅只有 *A. pinnata* 一種。滿江紅葉分裂爲上下兩片，懸浮在水面之上裂葉有氣孔，葉內側有很多小孔穴，內含有固氮藍綠藻 *Anabaena azollae*。滿江紅可培養於不含氮源培養液中，最需要的養分是磷，其次爲鐵；每公頃施用 54 公斤臺肥複合 1 號、臺肥複合 4 號或尿素會殺死滿江紅。施用硝酸態氮不會影響滿江紅的固氮活性。最合適之照光度爲 12,000 Lux，最適宜生長的 pH 爲 4.5 至 7.0。本省原有之 *A. pinnata* 品種較適合之生長溫度爲 15℃ 至 30℃。滿江紅因上裂葉小孔穴內有固氮藍綠藻，故固氮活性極強，可與水稻共作，插秧前先於田間培養滿江紅，在插秧前整地時犁入土壤中可以當做綠肥。插秧後即接種滿江紅，可以抑制水稻田大部份的雜草，其效果與施用"馬上除"效果相似。本省能源蘊藏並不豐盛，又要消耗大量能源來製造化學氮肥，以供應農業生產上的需要，故如何減少化學氮肥的使用量，是值得探討研究的工作，而培養滿江紅可以用來顯著減少水田化學氮肥使用量，故在可見的未來甚具有前瞻性經濟價值。

一、滿江紅的分類地位、形態、習性

滿江紅分類上是屬於滿江紅科、滿江紅屬。屬內有六種，即 1. *Azolla caroliniana* 分佈於北美洲及歐洲， 2. *A. filiculoides* 分佈於美洲及歐洲， 3. *A. mexicana* 分佈於中美洲及北美洲， 4. *A. microphylla* 分佈於南美洲， 5. *A. nilotica* 分佈於非洲， 6. *A. pinnata* 分佈於亞洲、大洋洲及非洲。以往曾有滿江紅 *A. imbricata* (Roxb.) Nakai 及非洲滿江紅（*A. africana* Desb.）等之記載，但皆爲 *A. pinnata* 之別名。由本研究室從臺中、淡水、宜蘭、鳳山、埔里及本省其他各地所採集得到的均只發現 *A. pinnata* 一種。

滿江紅爲懸浮於水面的多年生蕨類，經常在水田、池塘、水溝及低窪地均可見。主要分佈區域在亞熱帶及熱帶。滿江紅之大小依各品種之不同而異，例如 *A. pinnata* 的長度只有 1 至 2.5cm 長，而 *A. nilotica* 則有 15cm 長以上，植株之形狀亦依各不同種而異，例如 *A. pinnata* 呈三角形， *A. filiculoides* 、 *A. mexicana* 及 *A. microphylla* 呈多邊形。植物體有根、莖、葉之分化，莖著生葉與根，葉互生排列，每葉分裂爲上下兩片，上裂片懸浮於水面上，含有氣孔，內充滿很多小孔穴，穴內有一種固氮念珠狀藍綠藻 *Anabaena azollae* （圖 1)。在秋冬低溫時，不耐寒之品系，植物體由綠轉紅 （圖 2.） ，故名滿江紅，轉紅之主要原因爲產生大量的紅色花氰素所致。 6 不同品種滿江紅之中，除了 *A. nilotica* 之外，其餘 5 種均會產生紅色花氰素。繁衍方式主要行無性繁殖，當天氣寒冷或炎熱時會產生雌雄孢子，才進行有性生殖。孢子囊果著生在側枝第一枝葉之下方裂片上，大小孢子囊果混生，大孢子囊果球形（雌性），成熟時呈栗殼色，小孢子囊果隋圓形（雄性），呈綠色。行有性生殖時，大小孢子囊果成熟時落在水中，經過相當時期，孢子囊表皮腐爛放出孢子，該雌性孢子發育成爲卵孢子，再由雄性孢子放出精孢子交配而發芽成爲滿江紅孢子植物體（圖 3.)，幼滿江紅孢子植物體成長較慢，至農曆一至三月氣候溫和時，才快速生長。本地種滿江紅其生長與增殖速度非常快，在接種後二星期內鮮重往往可增加爲原來的 15～20 倍，而在長滿水面後能繼續以疊層

（multiple layers）的方式增殖，在溫室估計其疊層數在 45 天後爲 4 層左右，但田間估計在 5-6 層之間。

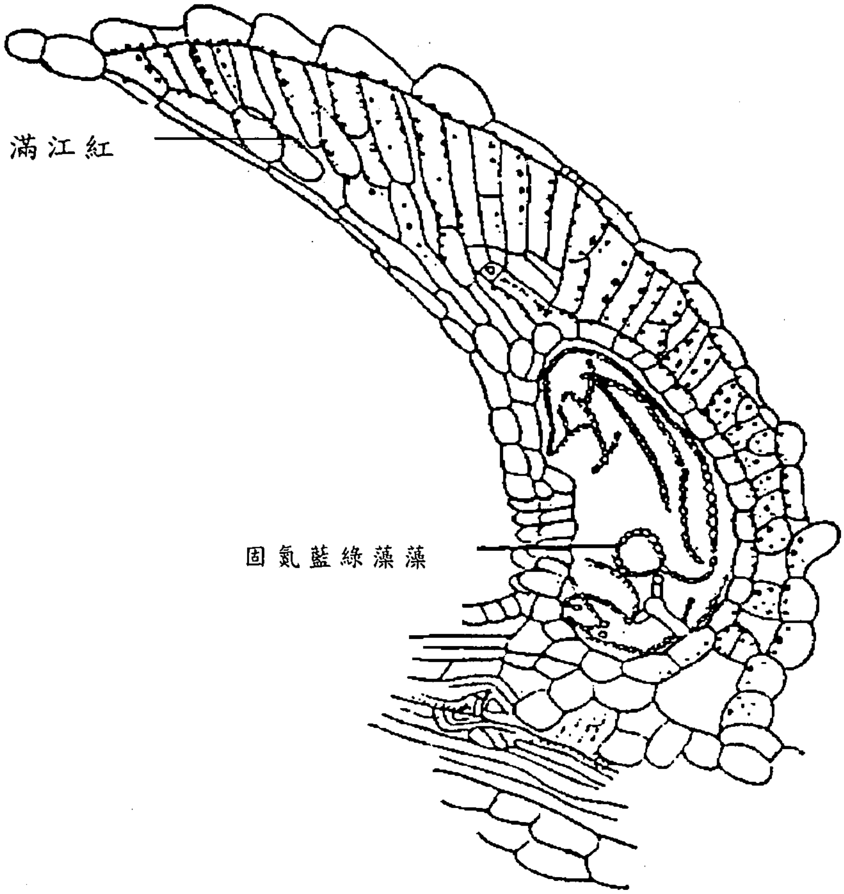
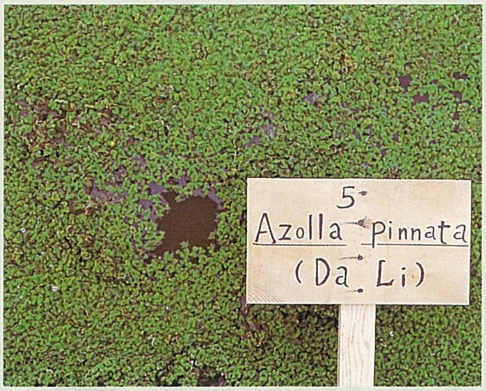


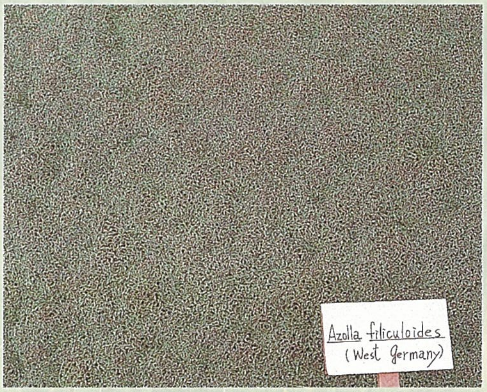
圖 1. 滿江紅上側葉片切面圖，小穴中有念珠 狀固氮藍綠藻 — *Anabaena azollae*



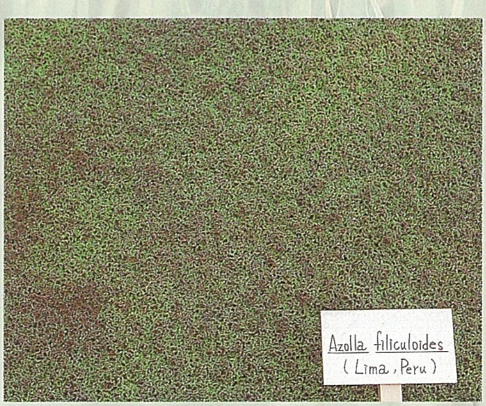
Azolla pinnata (Da Li)

Azolla microphylla

Azolla mexicana



Azolla filiculoides (West



Azolla filiculoides

Azolla mexicana

圖 2. 滿江紅 *Azolla pinnata* (Da Li) 與 *Azolla microphylla* (Paraqay) 於臺灣秋冬養殖仍然生長迅速且保持鮮綠，其餘品種 *Azolla mexicana* (Guiana) 、 *Azolla filiculoides* (West Germany) 、 *Azolla filiculoides* (Lima, Peru) 及 *Azolla mexicana* (U.S.A, California) 則生長減緩且顏色容易轉紅。

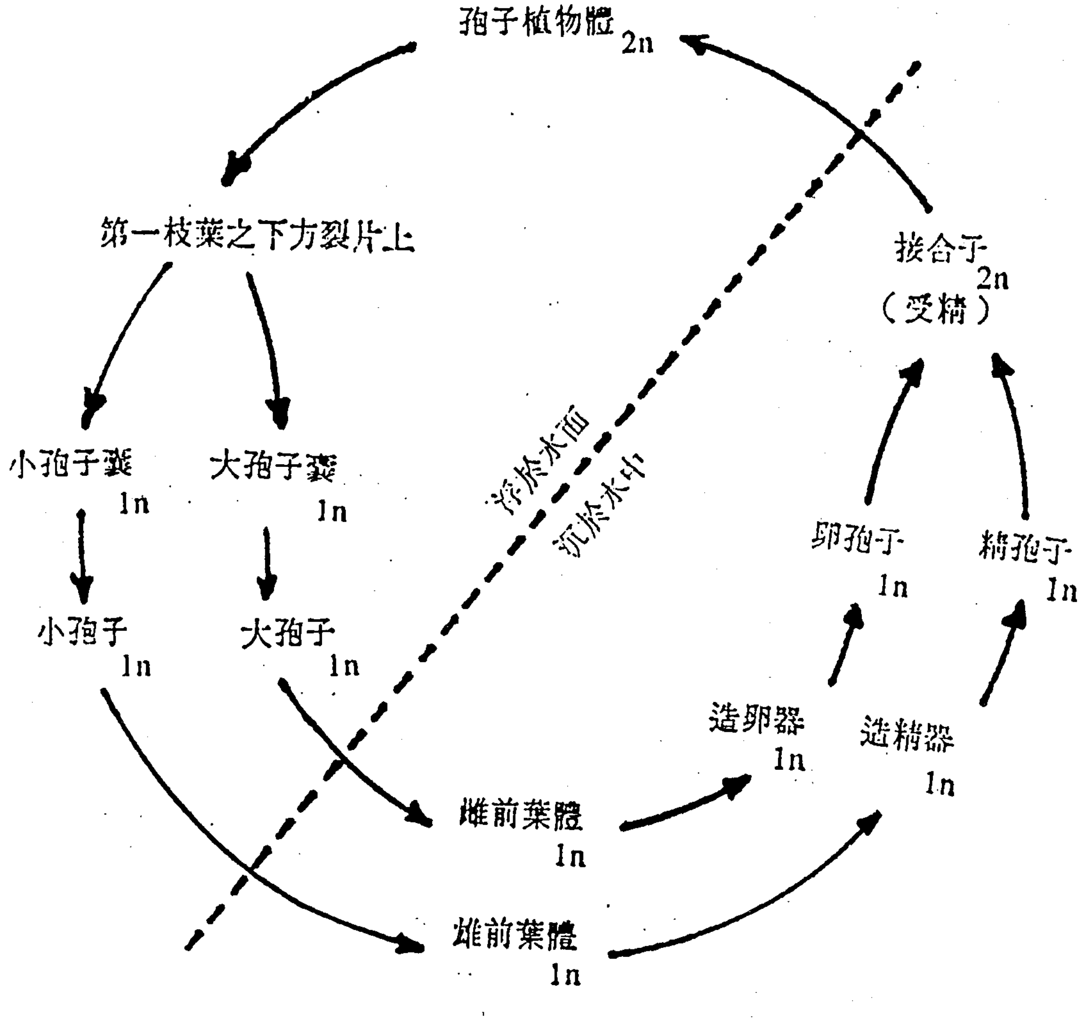


圖 3. 滿江紅有性世代生活

二、環境因子對滿江紅生長的影響

(一)照光度

一般滿江紅對照光度很敏感， *A. pinnata* 之固氮力在 14,000 Lux 至 27,000 Lux 時並無區別，當日照光度達 80,000 至 90,000 Lux 時 *A. pinnata* 固氮活性明顯減少，置于黑暗條件下 *A. pinnata* 的固氮活性在一小時後即降低接近於 0 。 Peters 氏研究 *A. carolinianà* 時發現其固氮活性在 4,840 Lux 時就會呈飽和，與 *A. pinnata* 有很大的不同。本研究室試驗用之 *A. pinnata* 於 9,000 Lux 照光度時固氮活性頗高， 12,000 Lux 以上呈飽和(表 1.)。

表 1. 照光度對滿江紅(*Azolla pinnata*)之影響

照光度	栽培後天數			
	0天		3天	
(Lux)	鮮重	固氮活性	鮮重	固氮活性
0	0.30	90.4	0.24	0.0
1000	0.30	92.1	0.45	63.8
3000	0.30	87.5	0.52	98.2
6000	0.30	97.0	0.61	98.0
9000	0.30	97.0	0.66	116.8
12000	0.30	90.0	0.70	126.2
15000	0.30	102.3	0.71	128.6

鮮重： 公克。固氮活性： n moles C_2H_4.0.1 g fw/hr。

(二)溫度

溫度方面據 Watanabe 研究 *A. pinnata* 時發現在 26 ℃/18 ℃ ，與 31/24 ℃ 水溫時其生長情形都相差不遠，但在 35/27 ℃ 時生長降低了 50% 左右。滿江紅對低溫適應性亦差，越南農民所用之 *A. pinnata* 在溫差低於 22 ℃-24 ℃ 即會死亡， *A. pinnata* 在印度無法以株體越冬， *A. filiculoides* 在 20 ℃ 以下則生長不好。國際稻米研究

中心（IRRI）於 1987 年研究報告指出 *A. pinnata* 在日夜溫度 37/29 ℃ 高溫下生長速度及單位面積固氮量都要比 *A. filiculoides* 及 *A. mexicana* 好得多，但在 29/21 ℃ 下 *A. filiculoides* 生長情形比 *A. pinnata* 略好，不過就田間養殖而言，*A. pinnata* 在之生長情形似乎較 *A. filiculoides* 爲好。

不耐熱帶、亞洲帶地區夏季高溫及不耐亞熱帶、溫帶地區冬天低溫，是一般使用滿江紅之主要限制因子。本地種 *A. pinnata* (Da Li, Taiwan) 對夏季高溫之反應相當良好，在水溫 30 ℃-40 ℃ 下仍生長良好，除非夏季特別炎熱，易生蟲害及熱害，否則本省二期作使用本地種滿江紅可不必顧慮高溫問題（表 2.），本省雖然地處亞熱帶，多天寒流來襲時氣溫降到 8℃ 左右，不耐寒之品系如 *A. pinnata* (Fuchow, China)、*A. mexicana* (California, U.S.A.) 及 *A. mexicana* (Guiana) 等品系於多季生長停頓，全部變紅，含氮量低，不適合於一期作前養殖滿江紅當作基肥使用，而本地種 *A. pinnata* (Da Li, Taiwan) 及 *A. microphylla* (Paraguay) 很耐寒（表 2.），元月份氣溫最低時仍然長得很濃綠，且繁殖迅速疊層水面，多天又無蟲害問題，因此本省一期作使用本地種滿江紅亦不必顧慮低溫問題。

表 2. 溫度對滿江紅（*Azolla pinnata*）生長之影響

溫度（℃）	開始時滿江紅鮮重（公克）	滿江紅生長 3 天後鮮重（公克）
15	0.30	0.40
20	0.30	0.58
25	0.30	0.84
30	0.30	0.70
35	0.30	0.50
40	0.30	—

—： 滿江紅死亡。

（三）養分

1. 氮肥與磷肥對滿江紅之影響：

每公頃施用 54 公斤的硫酸銨、磷酸二氫銨、尿素、臺肥 1 號及臺肥 4 號，試驗結果顯示只有硫酸銨與磷酸二氫銨對滿江紅沒有致死的傷害，尿素對滿江紅的毒害很強，雖然每公頃氮的用量減低為 15 公斤，仍明顯抑制滿江紅的生長 （表 3. 、表 4.）。施用硫酸銨會顯著降低滿江紅固氮活性，每公頃施用 18 公斤硫酸銨時，於第 3 天 及第 7 天後，滿江紅的固氮活性分別減少為原來的 75 % 與 9 %；但施用高濃度的

硝酸態氮對滿江紅的固氮活性並不會影響， 15 ppm 硝酸態氮的培養液可顯著增加滿江紅鮮重，且能保持其固氮活性 （表 5.）。施用碳酸銨、醋酸銨及檸檬酸銨容易導致滿江紅死亡 （表 6.）。

表 3. 不同化學氮肥施用不同天數後對滿江紅生長之影響

肥料種類	鮮重 (公克/盆)			
	0 天	5 天	10 天	15 天
磷酸二氫銨	4	16.7	42.0	79.7
硫酸銨	4	14.0	29.3	64.3
臺肥 1 號	4	—	—	—
臺肥 4 號	4	—	—	—
尿素	4	—	—	—
不施氮肥	4	19.3	30.3	46.7

5 公斤土壤置于 35 公分 x 28 公分四方盆，維持 3 公分水位，接種 4 公克新鮮滿江紅，以盆面積換算為每公頃施用 54 公斤氮。 —：滿江紅死亡。

表 4. 不同尿素量施用不同天數後對滿江紅生長之影響

尿素用量 (公斤氮/公頃)	鮮重 (公克/盆)		
	0 天	6 天	14 天
0	4	18.2	42.0
5	4	11.8	19.3
15	4	12.0	17.3
45	4	—	—

5 公斤土壤置于 35 公分 x 28 公分四方盆，維持 3 公分水位，接種 4 公克新鮮滿江紅。 —：滿江紅死亡。
尿素用量：以盆面積換算爲每公頃施用量。

表 5. 滿江紅於不同硝酸態氮濃度之 Tollen's 培養液中對鮮重及固氮活性之影響

硝酸態 氮濃度(ppm)	鮮重 (公克/盆)		固氮活性 (n moles C_2H_4 / 0.1 g f w, hr.)	
	0 天	3 天	0 天	3 天
0.0	0.3	0.52	89	92
15.0	0.3	0.73	95	101
76.0	0.3	0.75	82	99
153.0	0.3	0.70	85	101
306.0	0.3	0.60	85	98

每盆面積 113 平方公分，滿江紅培養時間爲 3 天

表 6.不同銨鹽對滿江紅生長之影響

銨鹽種類	鮮重產(公克) 0 天	5 天	12 天
硝酸銨	4	13.7	33.2
氯化銨	4	11.3	33.3
醋酸銨	4	5.0	9.8
碳酸銨	4	—[++]	—
檸檬酸銨	4	—	—

每盆面積爲 35 公分 × 28 公分。銨鹽用量以面積換算爲每公頃施用 45 公斤氮。 —：滿江紅不能生長。

一般而言田間養殖滿江紅最重要的肥料是磷肥，通常培養滿江紅不必施用氮肥，若滿江紅與水稻之共作系統中，若必須施用化學氮肥時，必須配合適量的過酸磷鈣一起施用，可以每次以 18 Kg/ha 之硫酸銨配合 P_2O_5 20 Kg/ha 至 40 20 Kg/ha 才能使滿江紅保持生長良好，且不影響滿江紅之固氮力 （表 7.） 。

表 7. 硫酸銨及過磷酸鈣用量對滿江紅鮮重產量之影響

N 用量	P_2O_5 用量（Kg/ha） 80		40		20		0	
(Kg/ha)	S	I	S	I	S	I	S	I
	鮮重 （公克）							
54	3.1c	4.0	7.1	6.9	4.2	4.2	4.2	4.2
36	4.9	5.5	9.2	8.5	7.4	6.7	5.7	7.1
18	6.6	5.5	9.3	8.7	8.2	7.7	5.1	7.0
0	5.0	5.0	7.6	8.2	9.5	8.6	4.9	對照

每盆面積 113 平方公分，硫酸銨與過磷酸鈣用量：以盆面積換算爲每公頃施用量。 S: 肥料施於土壤表面。 I: 肥料混入土壤裡面。 滿江紅接種量：0.5 公克，生長期：21 天。

2. 鐵濃度的影響：

水溶液中含 2ppm 以上 EDTA-Fe 就可以使滿江紅生長良好， 而以 5ppm EDTA-Fe 最適合滿江紅的生長，雖然不添加 EDTA-Fe 滿江紅的鮮重仍會增加，但增加的鮮重與固氮活性都顯著降低，而且滿江紅的植體會變黃，氮含量降低 （表 8.）。

表 8. 不同濃度鐵（EDTA-Fe）及培養天數對滿江紅鮮重與固氮活性之影響

鐵濃度	0 天		4 天		
ppm	鮮重	固氮活性	鮮重	固氮活性	培養後氮濃度
0	0.3	95.2	0.66	73.2	3.8
2	0.3	100.1	0.83	124.6	4.6
5	0.3	92.3	0.83	131.6	4.9
10	0.3	84.4	0.78	123.8	—
20	0.3	85.7	0.77	113.5	—

鮮重單位：公克。固氮活性單位： n mole C_2H_4/0.1g fresh weight, hr.

—：沒有測定。

(四)土壤種類及水深

不同性狀土壤不但影響滿江紅之生長，而且也影響滿江紅對磷肥之反應。滿江紅在酸性土壤中生長情形要比鹼性土壤佳。在 pH 值適應方面，本研究室試驗所用之 *A. pinnata* 適應範圍在 4.5-8.5 之間，而以 5.5 最佳，與 Watanabe 之結果相似。本研究室所用之滿江紅 *Azolla pinnata* 最適範圍在 5.5 左右，其對不同性狀土壤之反應偏好酸性土壤。在加施磷肥後，發現滿江紅在酸性粘板岩沖積土中對磷肥反應最佳，而在鹼性粘岩沖積土中對磷肥反應最差，甚至有類似毒害的情形發生。由試驗結果及工作經驗知道，水深亦影響滿江紅生長甚鉅。在酸性粘岩沖積土之情況下，3 公分以上的土水方使滿江紅反應出最好的磷肥效用（表 9.）。而以田間實際養殖之情形而言，若水深不足以使滿江紅飄浮，則滿江紅之生長速率甚慢，無法在同一時間內達到一般飄浮

情形時之滿江紅鮮重量，因而會嚴重影響田間的養殖。

表九、 不同水深對滿江紅生長之影響

水深	鮮重產量（公克）			氮濃度（%）
(公分)	0天	7天	14天	14天
1	4	19.2	41	3.05
3	4	30.1	56	4.07
6	4	31.4	58	3.34

三、滿江紅固氮之肥效及抑制稻田雜草

（一）滿江紅之肥效：

肥效試驗結果，滿江紅共作者與不施氮肥區比較，事實上並無顯著差異，但滿江紅拌入土中當基肥然後配合滿江紅共作，則肥效可有施用化學 N 60 kg/ha 相同或接近 N 100 kg/ha（表 10.）。因此顯然可看出滿江紅之肥效主要是來自拌入土中滿江紅鮮體。滿江紅覆蓋水面或土面對減少化學氮肥之逸失應具有相當的助益，此由滿江紅共作配合化學氮肥 N 60 kg/ha 的肥效與 N 100 kg/ha 者相似，可以得到旁證。滿江紅 *A. pinnata* 掩施當基肥使用（含 N 47 kg/ha），其肥效比施化學氮肥 N 60 kg/ha 之處理者較優，而且相當接近於施用化學氮肥 N 60 kg/ha 之處理者（表 11.）。

表 10. 本地耐熱又耐寒品種 *A. Pinnata* 對水稻之肥效試驗

處　理	稻穀產量（公斤/公頃）	
	70 年二期作	71 年一期作
施氮肥 100 公斤/公頃	5121	5350
施氮肥 60 公斤/公頃＋滿江紅共作	5090	4650
滿江紅當基肥＋滿江紅共作	5040	4916
施氮肥 30 公斤/公頃＋滿江紅共作	4292	4016
滿江紅共作	4064	3916
無氮區	3718	3900

表 11. 耐寒品種滿江紅大面積肥效試驗對水稻穀產量之影響

處　　理	穀產量(公斤/公頃)	指　　數
化學氮肥全量區（N 120 Kg/ha）	6439	100
化學氮肥半量區（N 60 kg/ha）	5464	85
掩施 *A. pinnata* (Da Li, Taiwan)	6044	94
掩施 *A. microphylla* (Paraguay)	5396	84

（二）滿江紅抑制雜草：

插秧後即接種滿江紅，由於滿江紅生長迅速疊覆水面，對大部份水田雜草都有抑制的作用，其防治雜草之效果與施用「馬上除」殺草劑相似。在滿江紅共作之各試驗區於試驗期間內，除鴨舌草與雙雀稗草偶有發現外，其他水田雜草甚少發生（表 12. ，圖 4.)。在共作期

間由於水稻植被能迅速覆蓋空間，自有防草功能，因此不必再有任何防草工作。故利用滿江紅做為水田雜草之生物防治，在今後水田作物栽培上將有很實用的價值。

表 12. 滿江紅與水稻共作對稻田雜草抑制之效果（水稻一期作）

處理	雜草相及雜草數(株)/0.5m² (三重複之平均)					穀產量 公斤/公頃
	鴨舌草	螢蘭	紅骨草	稗草	球花簾草	
不接滿江紅，不施殺草劑	723	114	33	17	8	4998
接種滿江紅 100 g/m²，不施殺草劑	55	48	6	0	0	6603
接種滿江紅 200 g/m²，不施殺草劑	41	18	14	3	0	5921
接種滿江紅 300 g/m²，不施殺草劑	21	9	2	0	0	6272
不接種滿江紅，施用殺草劑「馬上除」30 Kg/ha	53	11	0	0	0	6736

滿江紅為本地種 *A. pinnata* (Da Li, Taiwan)。

雜草相及雜草數於插秧接種滿江紅一個月後調查。

圖 4. 滿江紅與水稻共作可顯著抑制雜草